

포텐셜필드의 스펙트럼대비법을 이용한 의성소분지의 지구조 연구

김원균* · 민경덕** · 원중선** · 김정우***

Geologic Structure of Euseong Sub-basin from Spectrally Correlated Geopotential Field Anomalies

Won Kyun Kim*, Kyung Duck Min**, Joong-Sun Won**
and Jeong Woo Kim***

ABSTRACT: We use spectral correlation method to analyze gravity and magnetic anomalies of Euseong Sub-basin for distribution of rock facies and geologic structures. The analysis reveals distinct polarity between gravity and magnetic anomaly correlation; intermediate to mafic intrusives, extrusives, and the Tertiary basin shows positive gravity (+G) and positive magnetic (+M) correlation. Granitic gneiss and felsic volcanics negative gravity (-G) and negative magnetic (-M) correlation. The Palgongsan granite, felsic to mafic extrusives and Mesozoic granites are characterized by -G and +M correlation. +G and -M correlations in the sedimentary formations are interpreted by uplift of pre-Cretaceous basement rocks. The +G and +M correlation characteristics in northeastern part of Euseong Sub-basin including the Tertiary sedimentary basin result from the uplift of crustal materials. Major axes of spectrally correlated anomalies have mostly NW-SE or NE-SW directions. The former is due to the intrusives along strike-slip faults, and the latter which is observed in sedimentary formations is related to geological structures of basement associated extension of Cretaceous basin. In particular the NW-SE trending anomalies observed at Jeogje Fault give new insight into the boundary between Euseong and Milyang Sub-basin.

서 언

암상이나 암석의 물리적 성질의 횡적인 변화는 조암 광물 (bulk mineralogy) 및 부수광물 (accessory mineral)의 함량 등에 기인한다. 조암광물의 함량 변화는 중력 이상의 요인인 암상의 밀도차를 일으키며, 자철석과 같은 부수광물의 함량 변화는 자력 이상의 주요인이 된다. 이러한 물리적 성질의 횡적인 변화는 주로 암상의 변화와 관계가 있으며, 때때로 한 암석 단위에서도 구성광물의 횡적인 불균질성에 의해서도 나타난다. 또한, 단층, 습곡, 또는 관입 등과 같은 구조에

의해서 좌우될 수 있다.

이러한 중력 및 자력 이상의 상관관계 분석은 포텐셜 (potential) 자료 해석의 비유일성을 극복할 수 있는 접근 방법으로, 암상의 분포 파악 및 지질 구조 연구에 사용된다 (von Frese *et al.*, 1997b, Kim *et al.*, 2000). Von Frese *et al.* (1997b)은 시추자료와 중·자력 자료의 상관관계를 비교하여 암상의 분류 및 지질 구조를 해석하였으며, Kim (1996)은 위성 중·자력 자료의 상관관계를 분석하여 광역적인 지각 구조 모델링을 실시한 바 있다.

의성소분지내에서는 백악기 하양층군이 퇴적된 이후에 왕성한 화산활동과 불국사 관입암류의 관입이 있었으며, 의성소분지와 밀양소분지의 경계로 여겨지는 팔공산선 역시 팔공산화강암의 위치 및 이의 장축 방향으로 추정되고 있다. 따라서 밀도와 대자율차에 의한 중력과 자력 이상 분포를 이용한 물성의 횡적인 차이를 고찰함으로써 암상의 분포 양상 및 지

* 한국해양연구소 해양지질 연구단 (Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research & Development Institute), E-mail: kimwk@kordi.re.kr

** 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, Korea)

*** 세종대학교 지구과학과 (Department of Earth Sciences, Sejong University, Seoul, Korea)

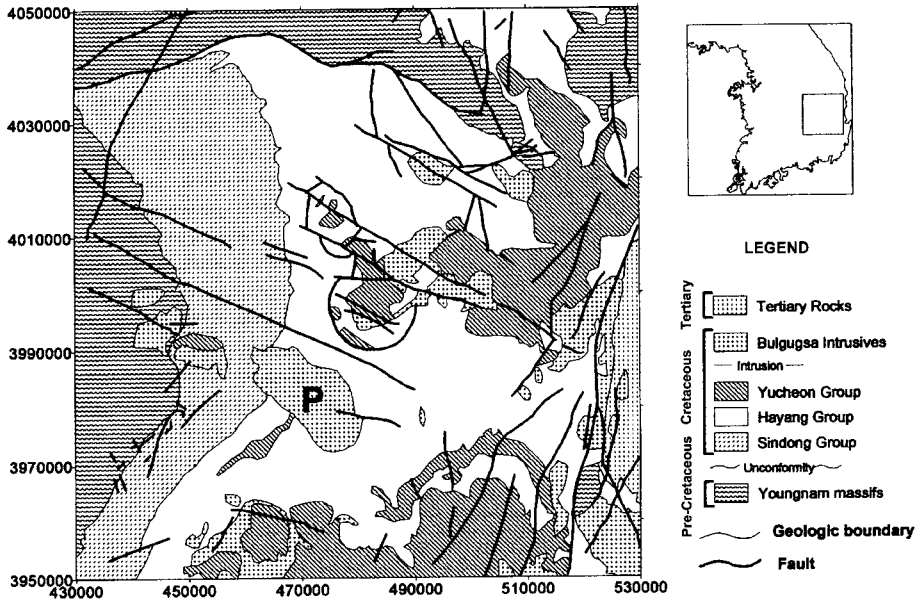


Fig. 1. Geologic map of the study area (Chawe *et al.*, 1995). P represents the Palgongsan Granite.

구조의 존재 가능성을 유추할 수 있다. 본 연구에서는 중·자력 이상의 상관관계를 이용하여 의성소분지의 암상을 구별하고, 지질구조의 규명 가능성을 고찰할 것이다.

지 질

중생대 쥐라기 후기 대보조산운동에 뒤이어 한반도 남동부에는 육성 쇄설성 기원의 경상분지가 형성되었다 (Chang, 1987). 경상분지는 세 개의 소분지로 나누어지며, 의성소분지는 영남육괴의 선캠브리아기 변성암류를 기반암으로 하여 북으로는 안동단층을 경계로 영양소분지, 남으로는 팔공산선을 경계로 밀양소분지와 경계를 이룬다. 백악기 퇴적암류들은 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 대분되며, 불국사관입암류가 이들을 관입하여 분포한다. Fig. 1은 연구지역의 지질도이다.

기반암류

의성소분지의 백악기 퇴적암류의 기반을 이루는 영남육괴는 선캠브리아기 화강편마암과 이를 관입한 쥐라기 화강암류로 구성된다. 편마암류는 주로 석영, 정장석, 사장석, 미사장석 및 흑운모로 구성되며, 화강암류는 중립질로 석영, 정장석, 사장석 및 흑운모로 구성

되어 있다. 신장된 분포를 보이는 기반암류들은 북북동-남남서 방향의 분포상태를 보이고, 기반암류에 발달한 주요 단층들은 북북동-남남서 방향으로 발달하고 있다 (최현일 등, 1982).

신동층군

기반암 위에 부정합으로 놓여 있는 신동층군은 사암, 셰일 및 역암 등으로 구성되어 있으며, 암색의 변화에 따라 하부로부터 낙동층, 하산동층 및 진주층으로 분대된다.

낙동층은 역암, 사암, 셰일 및 탄질셰일로 구성되어 있으며, 자색층을 함유하지 않는 특징으로 신동층군의 기저를 이룬다.

하산동층은 적색층이 빈번히 협재되는 층이며, 암색으로 세 지층을 구분하는 기준층으로 통용되고 있다. 구성암석은 사암, 역암, 자색 내지 회색 미사암과 셰일이다 (장기홍, 1988).

진주층은 회색사암, 암회색 셰일, 역암 및 석회암 등으로 구성되어 있으며, 자색층이 없는 것이 특징이다. 진주층의 퇴적환경은 호성층으로서 하부와 상부는 호수 가장자리, 중간부는 호수 중심부 퇴적상을 보이며 고수류의 경우 하부는 하산동층과 비슷한 등남향인데 반하여 상부는 동서향을 보인다 (손진담 등, 1989).

하양층군

의성소분지의 하양층군은 하부로부터 일직층, 후평동층, 짐곡층, 사곡층, 춘산층 및 신양동층으로 구분되어 통용된다 (장기홍, 1982; 최현일 등, 1982). 이러한 층서구분은 암색과 구성암류에 근거한 것인데 후평동층과 사곡층은 적색층이며, 춘산층은 사암, 셰일 및 역암으로 구성되어 있고, 하부로 갈수록 암회색이 나타나고 상부는 적색층이 우세하다. 또한, 춘산층의 기저부에는 구산동 응회암이 협재한다. 일직층은 밀양소분지의 하부 칠곡층에, 후평동층은 중부 칠곡층에 대비된다 (장기홍, 1982).

하양층군 내에는 퇴적동시성 화산활동이 인지되는데, 짐곡층과 춘산층에는 응회암 박층이나 녹회색 응회질 사암이 협재하며, 춘산층에는 흔히 화산회와 수성퇴적암의 중간적 성격을 띠는 부분이 많은 것으로 알려져 있다 (최현일 등, 1982).

유천층군

유천층군은 염기성, 중성 및 산성화산암들로 구성되며, 하양층군을 경사부정합으로 덮고 있다. 주 구성암석은 안산암, 유문암질 석영 안산암, 유문암, 용암, 응회암 및 용결응회암 등이며, 백악기 후기의 화강암질 불국사 관입암류에 의해 관입당하고 있다.

불국사 관입암류와 제3기 암류

경상분지에서 퇴적암류와 화산쇄설물의 퇴적이 완료된 후, 중성 내지 산성 심성암류로 이루어지는 불국사 관입암류의 관입이 뒤따랐다. 불국사 화강암류는 흑운모 각섬석화강암, 화강섬록암, 섬록암 및 화강반암으로 구성되어 있다. 동해안을 따라 제3기 퇴적분지 내에 분포하고 있는 제 3기 암류는 퇴적암류와 화산암류로 구분된다. 구성암석은 사암, 셰일, 역암, 응회질 사암, 응회질 역암, 다양한 성분의 응회암 및 응회암과 관련된 화산암류들이다.

연구방법

스펙트럼대비법 (Spectral Correlation Analysis)

같은 좌표체계를 갖는 두 신호 X와 Y의 상관계수 (correlation coefficient)는

$$CC(x,y) = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \tag{1}$$

으로 정의된다 (Davis, 1986). 식 (1)에서 σ_{xy}^2 는 X와 Y의 공분산 (covariance)이고, σ_x^2 와 σ_y^2 는 각각 X와 Y의 분산이다. 상관계수는 -1과 1사이의 값이며, 상관계수가 1인 경우 마루와 마루, 골과 골이 일치한다. 또한, 1에 가까울수록 두 자료의 상관관계가 높다. 상관계수가 -1인 경우는 마루와 골, 골과 마루가 일치하는 경우이며, -1에 가까워지면 상관관계는 역의 관계를 갖는다.

중력과 자력이상의 상관관계를 이용한 물성변화는 포아송 이론 (Poisson Theorem)에 근거를 두고 있다. 포아송 이론에 의하면, 자화방향과 밀도가 균일한 자성체에 의한 자력이상은

$$\Delta V(\gamma) = [\Delta m / (G \Delta \sigma)] [\partial \Delta G / \partial \gamma] \tag{2}$$

이다. 여기서 ΔV 는 자력이상, Δm 은 대자율, $\Delta \sigma$ 는 밀도, triangle ΔG 는 중력이상, G는 중력상수이다. 식 (2)는 지하에 위치한 이상체로부터 발생한 총 자력치의 자극화 변환 (RTP; reduction-to-the-pole) $\Delta V(r)$ 과 중력 이상의 1차 수직미분 $\partial \Delta G / \partial r$ 과의 관계를 나타낸다.

스펙트럼대비법은 주파수 영역에서 동일한 파수 (frequency)에 해당하는 성분에 대해 상관계수를 계산하여 원하는 이상만을 분리하는 방법이다 (Kim, 1996; von Frese *et al.*, 1997a). 식 (3)은 복소평면에서 파수 k에 대한 벡터를 나타내며, 두 자료의 파수 k에 대한 상관계수는 식 (4)에 의해 복소평면상의 두 성분의 위상차의 코사인 값으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \bar{X}(k) &= |\bar{X}(k)| \exp(-j\theta_{\bar{X}(k)}), \\ \bar{Y}(k) &= |\bar{Y}(k)| \exp(-j\theta_{\bar{Y}(k)}), \end{aligned} \tag{3}$$

$$CC(k) = \cos(\Delta\theta_k) = \frac{\text{Re}[\bar{X}(k)\bar{Y}^*(k)]}{\sqrt{|\bar{X}(k)\bar{X}^*(k)| |\bar{Y}(k)\bar{Y}^*(k)|}} \tag{4}$$

원하는 상관관계를 갖는 성분만을 추출하기 위하여 주파수 영역에서 대역통과필터 (band-pass filter)를 이용하며, 주로 notch 필터가 사용된다 (Jones, 1988). 이러한 필터를 사용하기 위해서는 연구목적에 맞는 적절한 절단상관계수를 결정해야 한다. 상관계수가 높아 질수록 필터링 후의 필터를 통과한 잔류파워는 점점 감소하며, 감소하는 비율도 증가한다. 또한, 낮은 잔류 파워는 계산과정에서 발생한 잡음에 의한 영향을 받아

S/N비가 낮아진다. 따라서, 각 상관계수별 입력자료와 필터링된 자료의 파워 (에너지)를 비교하여 적절한 상관계수를 결정하여야 한다.

Local Favorability Indices (LFI)

Merriam and Sneath (1966)에 의해 제안된 LFI의 개념은 두 자료간의 스펙트럼 대비법에 의한 결과의 시각적 해석을 강화시키기 위해 개발된 것이다.

SLFI (Summed Local Favorability Indices)

SLFI는 양의 상관관계를 갖는 이상의 분포를 시각적으로 강화시키는 방법으로 필터링된 결과들을 각 지점별 (point-to-point)로 더하는 방법으로, 식 (5)로 표현된다 (von Frese *et al.*, 1997a).

$$SLFI_i = \frac{[Z_i(X) - \mu_z]}{\sigma_z} + \frac{[Z_i(Y) - \mu_z]}{\sigma_z} \quad i=1,2,\dots,m. \quad (5)$$

SLFI_i>0인 경우는 양의 상관관계 중 마루와 마루에 해당하는 부분들로 양의 중력 (중력+), 양의 자력 (자력+)인 부분을 표현하며, SLFI_i<0인 경우는 골과 골에 해당하는 음의 중력 (중력-), 음의 자력 (자력-)이 강조된 부분을 표현한다.

DLFI (Differenced Local Favorability Indices)

DLFI는 음의 상관관계를 갖는 이상의 분포를 시각적으로 강화시키는 방법으로, 식 (6)과 같이 표현된다.

$$DLFI_i = \frac{[Z_i(X) - \mu_z]}{\sigma_z} - \frac{[Z_i(Y) - \mu_z]}{\sigma_z} \quad i=1,2,\dots,m. \quad (6)$$

DLFI_i>0인 경우는 X가 +, Y가 -인 경우인 양의 중력 (중력+), 음의 자력 (자력-)에 해당하며, DLFI_i<0인 경우는 그 반대인 음의 중력 (중력-), 양의 자력 (자력+)을 강조한다.

자료 특성

중력자료

본 연구를 위하여 연세대학교, 서울대학교, 부산대학교, 한국자원연구소에 의해 측정된 자료에 이천훈과 이도영 (1972)의 자료를 일부 합쳐 총 1722점의 중력자료를 사용하였다. 각 자료는 인접 측정점간의 거리 및 고도를 고려하여, 측정점간의 거리가 10 m 안에 위치하

는 측정점들의 값이 1 mgal 이내의 차이를 보이도록 기준값 (base level)을 조정하였다.

Fig. 2(a)는 무게 중력 이상으로 -9.53~39.93 mgal의 범위를 갖는다. Fig. 2의 AR (Amplitude Range)은 각 자료의 최대값과 최소값을, AM (Amplitude Mean)은 평균, ASD (Amplitude Standard Deviation)는 표준편차, AU (Amplitude Unit)는 단위, GI (Grid Interval)는 격자의 간격, CI (Contour Interval)는 등치선의 간격을 나타낸다.

자력 자료

자력 자료는 한국자원연구소에서 측정한 항공자력 자료로서, 각 측정 자료들은 고도 400 feet의 값으로 상향연속 환산되었으며, 일변화가 보장되었다. 또한, 각 자료의 측정시기가 다르므로 측정 연도를 기준으로, Gauss 계수를 8가지로 하여 IGRF 보정이 실시되었다 (구성본 등, 1997).

본 연구에서는 자력자료의 해석 시 중력자료와의 비교를 고려하여 1 km × 1 km 격자 간격으로 자료를 변환하였으며, 격자화한 후, 400 feet 하향연속과 자력 변환을 실시한 후의 수직자력이상은 Fig. 2(b)와 같으며, 620.7~1590.2 nT의 범위를 보인다.

상관관계 분석 및 고찰

중 · 자력의 이상을 분리하기 위하여 파워스펙트럼 분석을 실시하였다. 중력이상의 스펙트럼은 3개의 구간으로 분리되고, 각각의 평균 깊이는 2.44, 4.44, 14.03 km이며, 자력이상은 2개의 이상으로 분리되며, 각각 1.94, 4.65 km의 평균깊이를 나타낸다 (Table 1). 지표 및 천부의 암상 비교를 위하여 천부의 효과를 나타내는 평균 깊이 2.44 km, 1.94 km에 해당하는 중 · 자력이상간의 상관정도를 비교하였으며, 지질구조의 존재 여부를 규명하기 위해서는 전체 자료를 이용해 천부의 효과에 의한 상관관계 이상도와 비교하였다.

Table 1. Mean depths derived from gravity and magnetic power spectrum analysis. (unit : km)

Boundary	Gravity		Magnetic	
	Wavelength	Mean Depth	Wavelength	Mean Depth
1st	6.0~11.2	2.44	6.8~17.4	1.94
2nd	11.2~36.9	4.44	17.4~91.0	4.65
3rd	36.9~91.0	14.03		

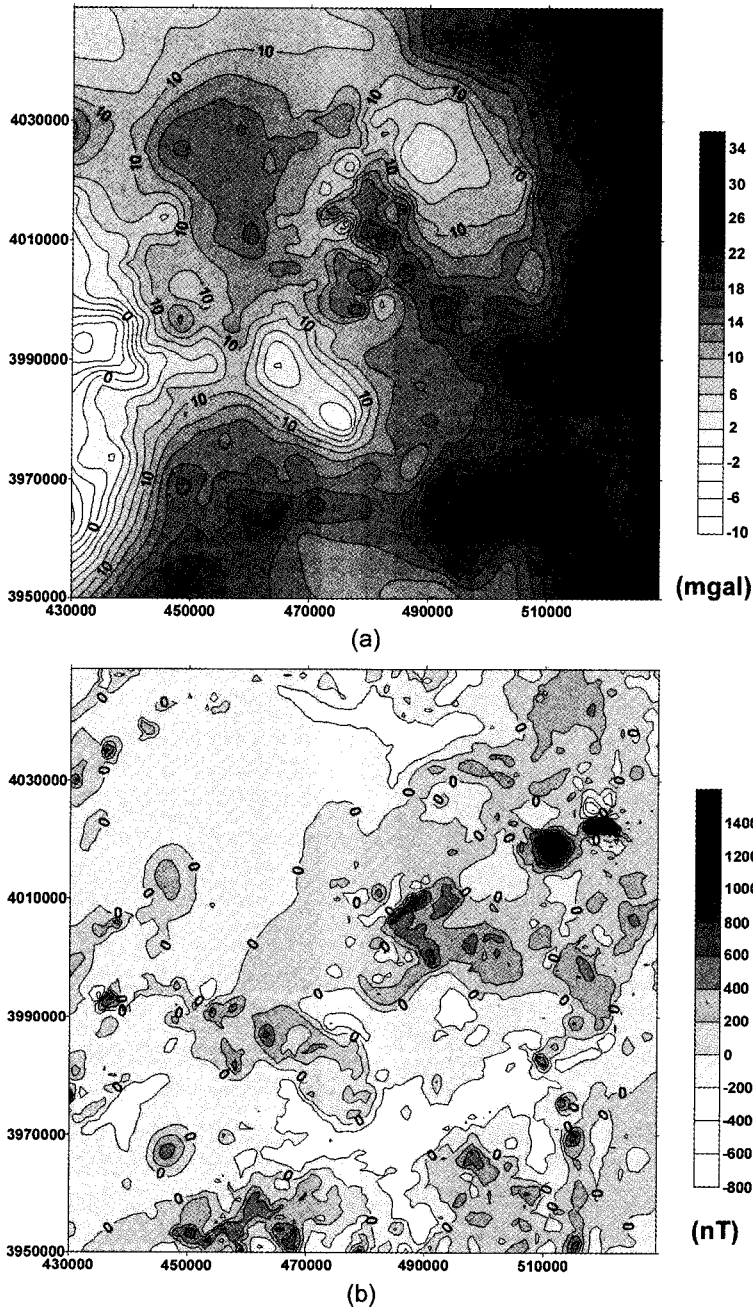


Fig. 2. (a) Bouguer gravity anomalies (AR=-9.53, 39.94), AM=14.62, ASD=7.816, AU=mgal, GI=1 km × 1 km, CI=2) and (b) Total-field magnetic anomalies obtained by reduction to the pole (RTP) (AR=(-620.7), AM=0.01, ASD=183.0, AU=nT, GI=1 km × 1 km, CI=100).

각 1차 수직미분된 (FVD; First Vertical Derivative) 중력이상과 자극화변환된 자력이상의 폭의 크기가 서로 다르므로 두 이상도의 시각적, 체계적인 분리

를 위하여 평균은 0이고 표준편차가 2가 되도록 정규화하였다. 천부 이상을 정규화하기 전의 중력이상의 수직미분값은 -0.01~0.01 mgal/km, 자력이상은 -765.8

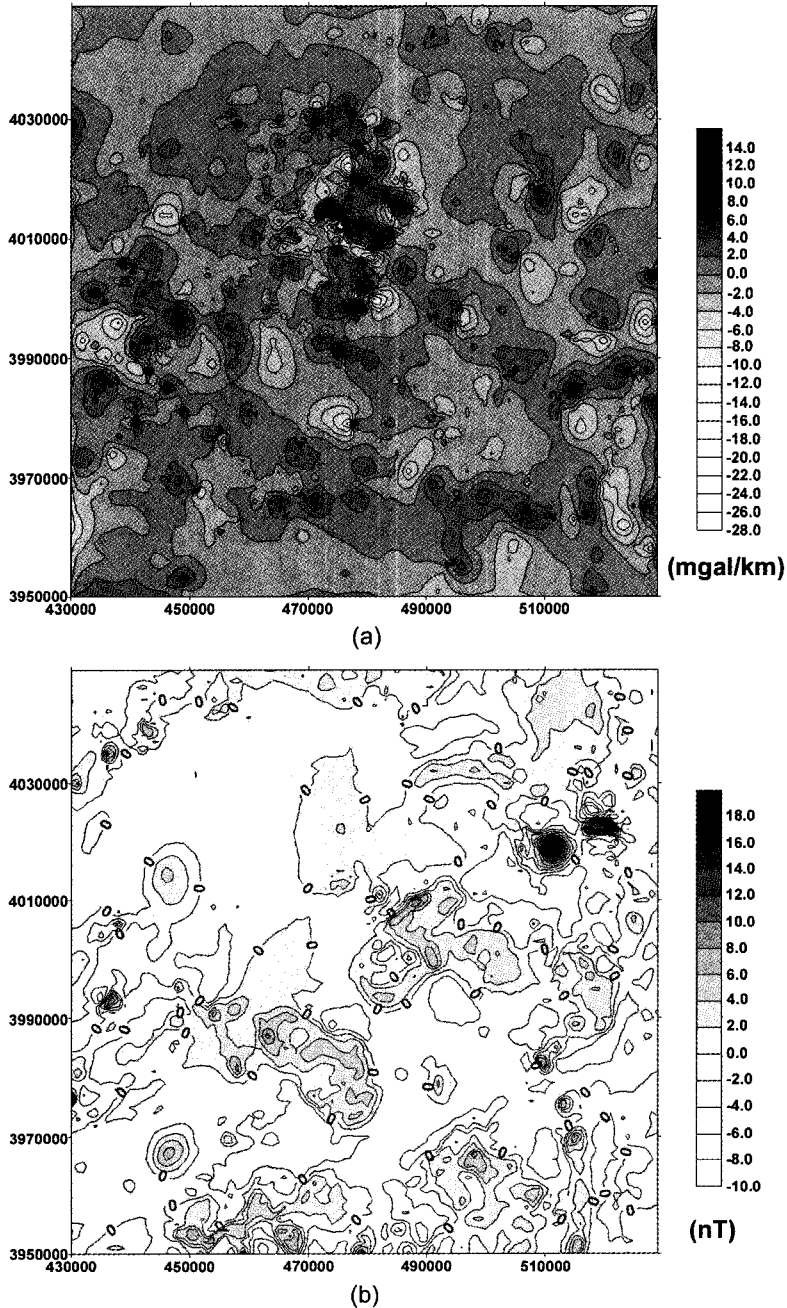


Fig. 3. Normalized anomalies above the mean depth of the basement. (a) 1st vertical derivative gravity anomaly of which normalization factor NF is 0.0003 (AR=(-26.5, 14.2), AM=0.0, ASD=2.0, GI=1 km × 1 km, CI=2), and (b) RTP-TF magnetic anomaly of which NF is 77.35 (AR=(-9.89, 18.52), AM=0.0, ASD=2.0, GI=1 km × 1 km, CI=2).

~1432.1 nT 이며, 정규화된 FVD와 RTP 후에는 이상은 -26.5~14.2, -9.9~18.5이고, 각 자료에 대한 NF (normalization factor)는 각각 0.0003과 77.35이다. Fig. 3은 정규화된 FVD와 RTP 이상을 나타낸 것이다.

전체 자료의 정규화이전의 중력이상은 -0.01~0.01 mgal/km, 자력이상은 -620.7~1590.2 nT, 정규화된 FVD와 RTP 후에는 각각 -6.8~8.6, -6.7~17.3이고, 각 자료의 NF는 0.0014와 91.5이다.

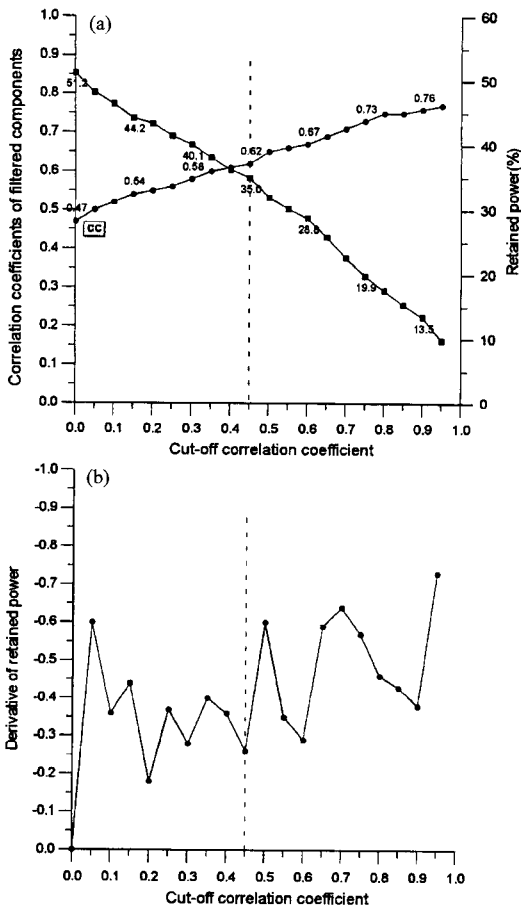


Fig. 4. (a) Variation of retained power and correlation coefficients of filtered components, and (b) derivative of retained power according to cut-off correlation coefficients in the positive spectral correlation.

주파수영역에서 두 자료의 동일한 파장간의 특정한 상관계수를 갖는 성분만을 분리하기 위한 절단파수는 필터링 후 성분들의 상관계수 및 잔류파위의 크기를 비교하여 결정하였다. 절단파수가 1.0이나 -1.0에 가까워질수록 상관계수는 커지나, 원 자료가 갖는 잔류파위의 크기가 급격히 감소하며, 필터링과정에서 잡음이 발생하게 된다. 천부의 지질 구조에 의한 중·자력 이상은 Fig. 4(a)와 Fig. 5(a)에서와 같이 절단파수의 증가에 따른 상관계수의 큰 변화 폭을 보이지는 않는다. 그러나, 잔류파위의 감소율은 양의 상관관계에서는 Fig. 4(b)에서와 같이 절단주파수 0.45를, 음의 상관관계에서는 Fig. 5(b)에서와 같이 -0.55를 지나면서 급격히 증가한다. 양의 상관관계에서 0.45~1.0인 부분과 음의 상관관계에서 -1.0~-0.55 사이의 성분만을 분리하여 상

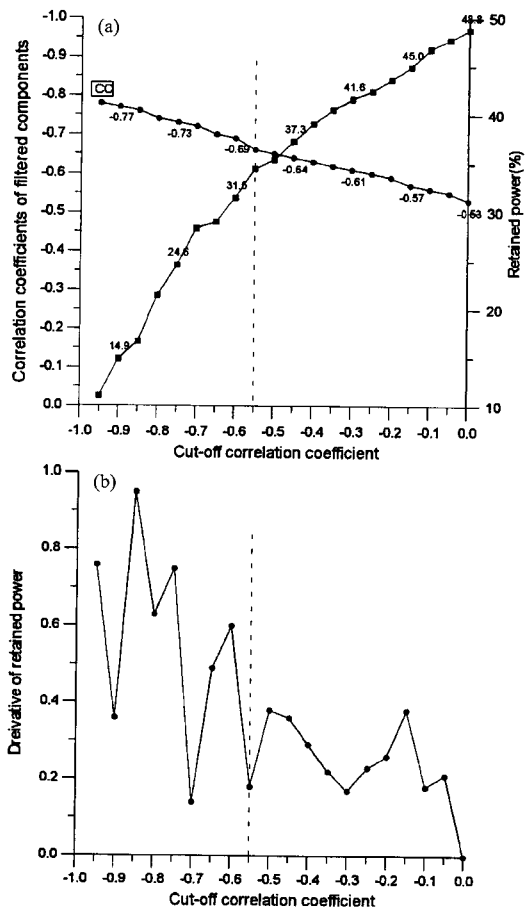


Fig. 5. (a) Variation of retained power and correlation coefficients of filtered components, and (b) derivative of retained power according to cut-off correlation coefficients in the negative spectral correlation.

관이상도를 작성하였다. 전체 자료의 양과 음이 절단 상관계수는 0.3과 0.45, 상관계수는 각각 0.577, -0.609이며, 잔류파위는 46.1%, 34.8%이다.

Fig. 6은 천부 지질구조 효과에 의한 중·자력 이상의 상관관계를 표현한 것이고, Table 2는 의성소분지 내 암석의 밀도와 대자율에 대한 기존의 연구 결과이다. Fig. 6(a)는 중력 +, 자력 +의 특성을 가지는 SLFI>0인 부분으로 주로 중성 및 염기성 관입암 분포 지역 및 다른 암체에 비해 소규모로 분포하는 현무암과 반려암의 분포지역과 일치한다. 이윤수 (개인통신)에 의하면 본 연구지역에 분포하는 암석의 대자율은 영남육괴의 변성암류와 백악기 퇴적암 (신동충과 하양층군)은 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ SI, 중성 및 염기성 화산암 (유천층군)은 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ SI, 자성화강암인 불국사 관입암류

Table 2. Density and susceptibility of rocks in the Kyungsang Basin.

Rock type	Density (g/cm ³)		Susceptibility ($\times 10^6$ in cgs)	
	range	mean	range	mean
Crust	2.84 ^A	2.84 ^A		
Basaltic Layer	2.90 ^B	2.90 ^B		
Granitic Layer	2.67 ^C	2.67 ^C		
Kyungsang Basin				
Basement	2.58 ^C			
- Pre-cambrian Gneiss	2.58 ^E		19~1000 ^F	
- granite-Gneiss	2.61~2.71 ^D	2.65 ^D	56~710 ^D	116 ^D
- Granite	2.51~2.60 ^D	2.58 ^D	70~455 ^D	152 ^D
		2.60 ^C		
Sedimentary rocks				
- Sandstone	2.30~2.75 ^D		29.3~3103 ^D	306.1 ^D
		2.53 ^D	70~540 ^F	
- Shale	2.30~2.77 ^D	2.67 ^D	29.3~2963.9 ^D	225 ^D
			76~524 ^F	
- Conglomerate	2.49~2.55 ^D		924~1695.4 ^D	1512.6 ^D
Intrusive & Extrusive		2.52 ^D		
- Granite	2.51~2.65 ^D	2.56 ^D	10.27~2311.9 ^D	1210.6 ^D
- Basalt	2.90 ^E	2.90 ^E	5800 ^F	
- Andesite	2.47~2.73 ^D	2.57 ^D	16.95~6850 ^D	1696.6 ^D
- Tuff]	2.53~2.60 ^D	2.55 ^D	71.9~125.4 ^D	86.2 ^D
Tertiary rocks		2.03 ^E		
- Mudstone	1.93~2.23 ^D	2.08 ^D	1~39 ^D	10.4 ^D
- Shale	2.57~2.75 ^D	2.65 ^D	19~49 ^D	37.3 ^D
- Sandstone	2.42~2.52 ^D	2.47 ^D	0~39 ^D	19.1 ^D

A : Worzel and Shurbet (1955), B : Bott (1982), C : Min and Kim (1987); Min and Jung (1985), D : Ahn *et al.* (1971), E : Lee and Lee (1972), F : Koo *et al.* (1968)

는 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ SI의 값을 가진다. 슈라기 화강암의 경우는 대자율 값이 높은 자성화강암과 낮은 비자성화강암이 공존하며, 자성화강암은 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ SI, 비자성화강암은 10^{-5} SI 를 보인다. 한편 중력의 차이를 유발하는 밀도값은 각섬석, 휘석, 감람석 등으로 구성된 중성 및 염기성 화성암이 산성화성암보다 더 크다. 따라서 중성 및 염기성 관입암 지역에서 SLFI>0의 특징을 보이며, Table 2와도 잘 일치한다.

Fig. 6(b)의 SLFI<0으로 나타나는 부분은 주로 퇴적층의 분포 지역에서 나타나며, 선캠브리아기의 화강편마암 지역 및 산성 화산암의 분포지역과도 일치한다. 이는 Table 2에서와 같이 선캠브리아기 화강편마암 및 유천층군 화산암의 밀도와 대자율이 백악기 퇴적암보다 적음을 지시한다.

Fig. 6(c)의 DLFI<0인 부분은 팔공산 화강암 지역에서 잘 일치하고 있으며, 금성산, 보현산 일대의 중성 및 염기성 화산암 분포지역과, 분지의 중동부와 분지 이남에 위치한 안산암 지역에서 나타나고, 중생대의 염기성화강암, 대보화강암 분포지역에서는 부분적으로 나타난다. 일반적으로 화강암은 산성의 성분을 가지며,

낮은 대자율값을 갖는다. 그러나 경상분지에 분포하는 불국사 관입암류는 강자성광물인 자철석의 함유 비율이 높아 (Jin, 1985), 상대적으로 큰 자력이상을 형성한다.

Fig. 6 (d)의 DLFI>0인 지역은 주로 팔공산 화강암의 남부인 고령-경산에 걸쳐 넓게 분포하며, 일쿠 산성화강암 분포지역과 퇴적암 분포지역에 부분적으로 나타난다. 이러한 중력 +, 자력 -의 특성을 보이는 암체에 대해 von Frese *et al.* (1997b)은 초염기성 관입암의 가능성을 제시한 바 있다. 그러나, 정창석 등 (1998)과 같은 암석학적 연구에 의하면 경상분지에 분포하는 화강암은 하부 지각 기원으로 Fig. 6(d)와 같이 광범위한 분포를 갖는 초염기성암의 존재는 생각하기 힘들다. 따라서 퇴적암 분포지역에서 강한 DLFI>0의 특성을 나타내는 암석은 분지의 기반암으로 예상되는 영남육괴의 암석인 것으로 해석된다.

일반적으로 단층은 중·자력 이상에서 저이상을 보인다. 그러나 이러한 연약대를 따라 관입암이 존재하는 경우 자력은 고이상은 나타낸다. 의성소분지의 경우, 밀양소분지와는 경계는 팔공산화강암의 장축방향으

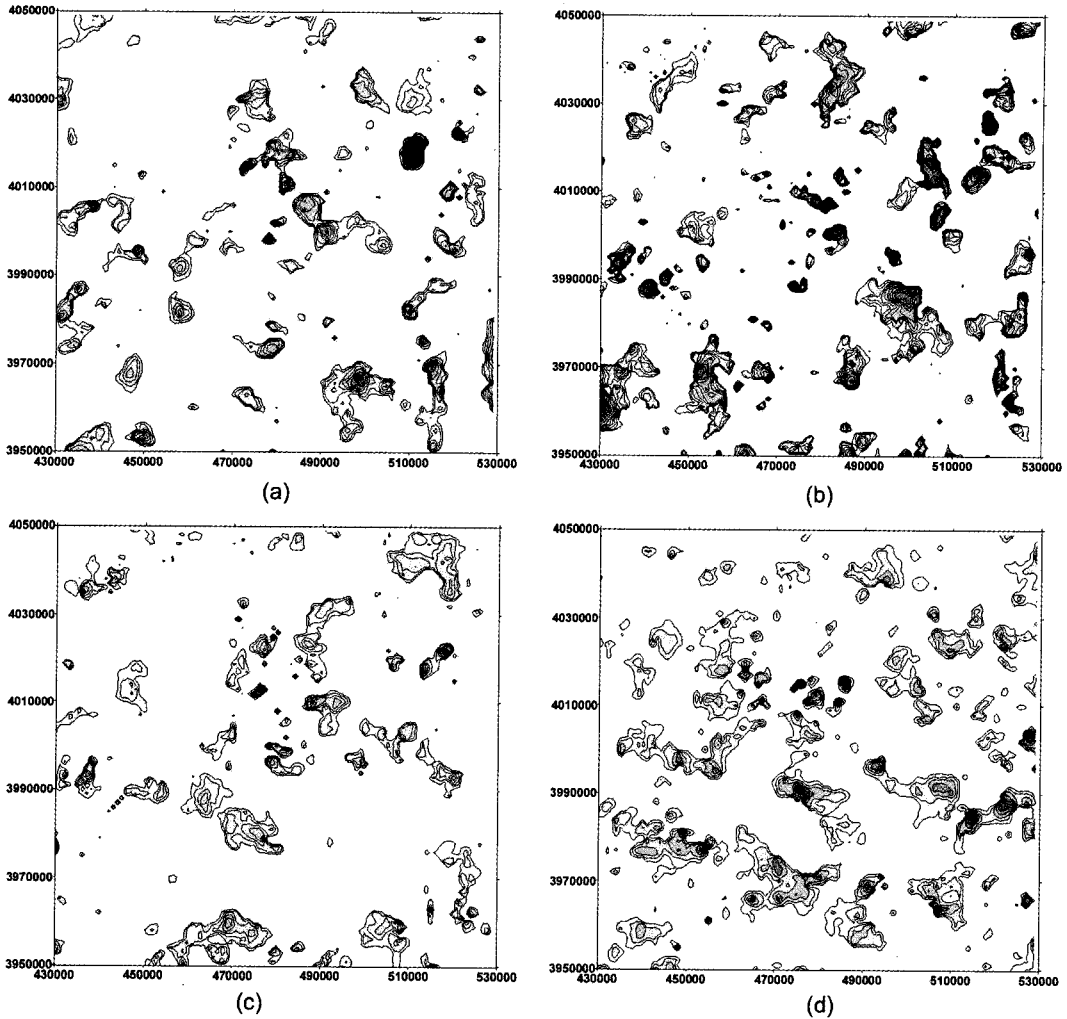


Fig. 6. Correlative gravity and magnetic features above the mean depth of the basement. Inferred features from the stronger local favorability indices that have been interpreted to delineated correlative regions of positive (+) and negative (-) constants in local gravity and magnetization. (a) represents $SLFI > 0$, (b) $SLFI < 0$, (c) $DLFI < 0$, and (d) $DLFI > 0$.

로 예측되어 왔으며, 전정수 (1995)와 전명순 등 (1993)은 경상분지에서 자력이 고이상을 보이는 부분들은 주로 단층과 같은 구조적 연약대를 따라 관입한 화성암체들의 선상 분포에 의한 것으로 해석하였다. 따라서 상관관계 이상도는 암상의 구분 외에 지질구조의 파악에도 유용하게 사용될 수 있다. Fig. 7은 상관관계 이상과 지질구조의 연관성을 고찰하기 위하여, 중·자력 전체 자료를 이용하여 구한 상관이상도이다.

Fig. 7(a)의 제3기 퇴적분지를 포함한 연구지역의 동부에서 강한 중력 +, 자력 +의 특징을 보인다. 이와 같은 중력이상의 증가에 대해 최광선 (1986)은 동해안으로 갈수록 대륙지각에서 해양지각으로의 빠른 전이

로, 박찬홍 등 (1996)은 광역적인 중력 변화의 원인을 분지의 서쪽에서 동쪽으로 가면서 지각이 얇아지는 것으로 해석했다. 또한, 전정수 (1995)는 밀양소분지에 대한 중·자력 연구를 통해 이러한 중력 +, 자력 + 효과를 일으키는 물질의 평균밀도는 2.67 g/cm^3 이고, 평균대자율이 $1000 \times 10^{-6} \text{ cgs}$ 인 화강암질암으로 해석한 바 있다.

Fig 7의 실선으로 표시된 이상의 장축의 방향은 크게 NW와 NE 방향으로 대분된다. Fig. 7(a)와 (c)의 NW 방향은 대체로 주향이동단층들의 방향과 일치하며, 이는 분지 내의 존재하는 단층대와 같은 연약대를 따라 관입한 관입암체들의 배열에 의해 나타나는 것으로 해

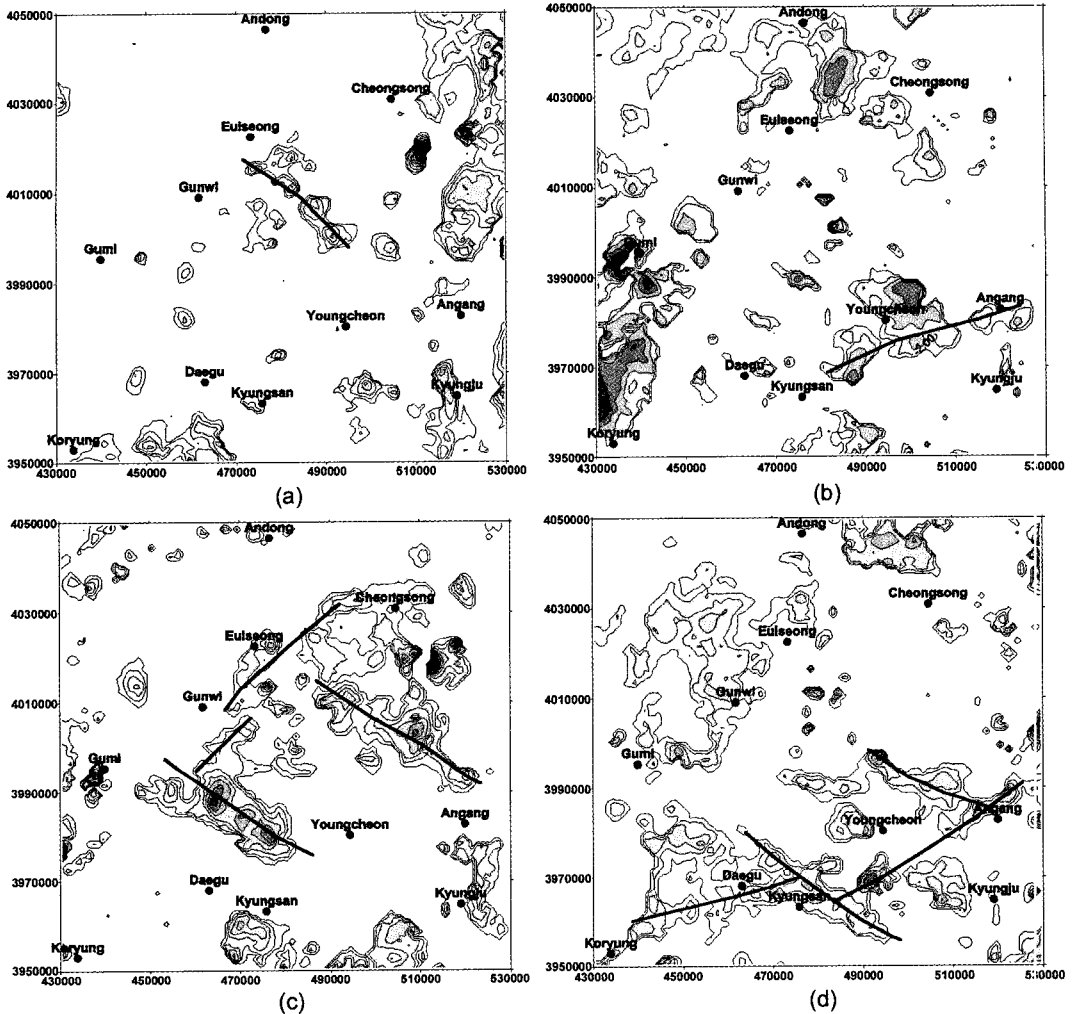


Fig. 7. Correlative gravity and magnetic features. (a) represents SLFI>0, (b) SLFI<0, (c) DLF1<0, and (d) DLF1>0.

석된다. 반면에 NE 방향은 Fig. 7(b), (c), (d)에서와 같이 퇴적암 분포지역에서 주로 나타난다. 장기홍 (1988)은 전기 백악기동안 경상분지는 분지의 서측에 있었던 북북동 방향의 낙동곡분에서 신동층군의 퇴적으로 한정되었으며, 하양층군 퇴적기간중 경상분지는 동쪽으로 확대되면서 침강범위의 확대와 동시에 화산 활동이 일어난 것으로 주장하였다. 또한 퇴적층의 주향이 대체적으로 동-동남 방향인 것을 고려하면, 이는 신동층군의 퇴적 이후 분지의 확장과 연관이 있을 것으로 예상된다.

특히, Fig. 7(d)의 중력 +, 자력 -의 특징을 가지는 안강-경산에 이르는 NE 방향의 이상과, 경산에서 팔공산화강암에 이르는 NW 방향의 이상은 분지 기반암의

분포를 나타내는 것으로 영남육괴가 상승한 것으로 해석된다. 경산-안강에 이르는 이상대에 대해 전명순 등 (1993)은 지진자료와 비교하여 구조적 약대로, 구성분 등 (1998)은 북동-남서 방향의 횡압력에 의해 형성된 주향이동단층으로 NWW-SSE방향의 주향이동단층과 공액관계로 해석한 바 있다. 이러한 분지기반암의 상승은 의성소분지와 밀양소분지 간의 경계에 대해 지구물리학적 새로운 모델을 제공한다. 기존의 경계인 가상적인 팔공산선은 팔공산화강암 (Fig. 1. P)의 장축을 따라 설정되었으며, 장기홍과 박순옥 (1997)은 주향이동단층인 팔공산단층을 경계로 제시한 바 있다. 만약에 경계가 팔공산화강암의 장축을 따라 존재한다면 팔공산화강암 동부에도 관입암의 존재가 확인되어야 하

나, Fig. 7(c)에서와 같이 관입암의 흔적은 나타나지 않는다. 반면에 Fig. 7(d)의 경산부근의 적제단층 (장기홍과 박순옥, 1997)의 위치에서 나타나는 NW 방향의 이상들은 좋은 연속성을 보이며, 기존의 퇴적학적 경계와도 잘 일치하는 것으로 보아 분지의 경계는 팔공산화강암의 남서 경계와 경산에 이르는 이상대일 가능성이 높다.

결 론

중·자력 이상의 상관관계 분석은 밀도와 대자율의 차이를 보이는 암체의 공간적 분포 규명에 매우 유용하게 사용할 수 있으며, 지표에 노출되지 않은 관입암의 물성 예측 및 지질구조의 존재 가능성을 지시해준다.

연구지역의 중성 및 염기성 관입암, 현무암, 반려암, 제3기 퇴적분지는 양의 중력, 양의 자력 특성을 나타내며, 선캠브리아기의 편마암, 산성화산암은 음의 중력, 음의 자력 특성을, 팔공산화강암, 중성 및 염기성화산암, 안산암, 중생대 화강암은 음의 중력, 양의 자력 특성을 나타낸다. 또한 퇴적암 지역에서 나타나는 양의 중력, 음의 자력 특성은 분지의 기반암인 영남육괴의 상승에 의해 나타나는 것으로 해석된다. 제3기 퇴적분지를 포함하는 의성소분지의 동부의 양의 중력, 양의 자력의 특성은 높은 밀도와 대자율값을 갖는 지각 물질의 상승에 의한 것으로 해석된다.

상관관계 이상의 장축 방향은 주로 북서, 북동 방향으로 배열되어 있으며, 북서방향은 주향이동단층을 따라 천부까지 관입한 화강암체들로, 퇴적층내에 주로 발달하는 북동 방향은 분지의 확장과 관련된 분지기반암의 구조로 예상된다. 특히 적제단층의 위치에 나타나는 북서 방향은 의성소분지와 밀양소분지의 경계일 가능성이 높다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 지원의 의성소분지의 지질 및 지구조 연구 (과제번호 97-07-03-02-01-3) 및 1999년 과학기술부 정책연구용역사업의 지원으로 이루어졌음을 밝히며, 이에 감사한다.

참고문헌

구성분, 이태섭, 박수영, 최중호, 성낙훈 (1998) 항공 물리 탐사 연구-단양, 영주, 춘양지역 항공방사능 및 자력탐

- 사 연구와 경상분지 자료종합, 한국자원연구소 연구보고서, KR-98-(C)-01, pp. 63.
- 구성분, 이태섭, 김광은, 최중호, 박수영, 성낙훈 (1997) 예천, 안동, 예안지역 항공방사능/자력탐사와 해남 및 경상분지 자료종합, 한국자원연구소 연구보고서, KR-97-(C)-13, pp. 84.
- 구자학, 유공열, 조동행 (1968) 한국 암석의 대자율에 대하여, 국립지질조사소, 불리탐사보고, 2권, p. 93-105.
- 민경덕, 김정우 (1987) 중력탐사에 의한 마산-부산간의 지하구조 연구, 광산지질, 20권 p. 203-209.
- 민경덕, 정중대 (1985) 중력탐사에 의한 경상충군내 왜관-포항간의 지하구조 연구, 광산지질, 18권 p. 321-329.
- 박찬홍, 김한준, 양철수, 석봉출, Nobuhiro Isezaki (1996) 중력 및 해저면 지진계 탐사 자료에 의한 울릉 분지의 지구구조 연구, 지질학회지, 32권, p. 276-290.
- 손진담, 김중열, 구성분, 손병국, 권석기 (1989) 경상누층군의 퇴적상과 속성작용 및 암석물성의 관련성 연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-89-(B)-37, pp. 110.
- 안은식, 유공열, 문인연, 김원식 (1971) 한반도 동남부 암석의 물리적 성질 측정 결과 보고서, 지질광상 조사보고 제12호, 국립지질조사소, p.43-53.
- 이천훈, 이도영 (1972) 경상분지 중력탐사보고서, 국립지질조사소, 지구물리 화학탐사보고, 6권, p. 71-81.
- 장기홍 (1982) 상부중생대층 (백악기-경상누층군). 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 113-131.
- 장기홍 (1988) 경상분지 백악기 층서와 고수류 해석, 지질학회지, 24권, p. 194-205.
- 장기홍, 박순옥 (1997) 경상분지 중앙부의 구조발달사와 화산활동사, 자원환경지질, 30권, p.143-151.
- 최광선 (1986) 한반도 남부의 중력에 관한 연구, 서울대학교 지질학과 이학박사 학위 논문, pp. 110.
- 전명순, 지현철, 전정수, 정승환 (1993) 지진연구, 한국자원연구소, KR-93-1G-4, pp. 41.
- 전정수 (1995) 경상분지 남부지역 (밀양소분지)의 지질구조에 관한 지구물리학적 연구, 연세대학교 지질학과 박사학위논문, pp. 139.
- 정창식, 권성택, 김정민, 장병욱 (1998) 경상분지 북부에 분포하는 온정리 화강암에 대한 암석화학적, 동위원소 지구화학적 연구: 경상분지 다른 지역과 서남 일본 내대에 분포하는 백악기-제3기 화강암류의 비교 고찰, 석유지질학회지, 7권, p. 77-97.
- 최현일, 손진담, 오재호, 최영진, 윤현수, 신성천, 양문열, 김상길, 조동행, 오재호, 문창배, 민성식, 박영수 (1982) 의성지역 경상누층군에 대한 연구, 연구특보-28호, 한국동력자원연구소, p. 1-50.
- Bott, M. H. P. (1982) The interior of the earth ; its structure, constitution and evolution, 2nd ed., Edward Arnold, p. 30-86.
- Chawe, U. C., K. B. Kim, S. H. Hong, B. J. Lee, k. H. Park, S. K. Hwang, P. Y. Choi, K. Y. Song, and M. S. Jin (1995) Geological map of Korea 1:100,000, Korea Institute of Geology, Mining and materials.
- Davis, J. C. (1986) Statistics and data analysis in geology, John Wiley & Sons, p. 295-330.
- Merriam, D. F and Sneath, P. H. A. (1966) Quantitative comparison of contour maps, J. Geophys. Res., vol. 7, p. 1105-1115.
- Jones, M. B. (1988) Correlation analysis of the gravity and magnetic anomalies of Ohio and the geologic signature, the Thesis of Master degree, Ohio state Univ,

- pp. 199.
- Jin, M.-S. (1985) Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary Granitic Rocks in Southern Korea: Pt. 1. Major Elements Geochemistry, The Jour. of Geological Society of Korea, vol. 21, no. 4, p. 297-316.
- Kim, J. W., W. K. Kim, and H.-Y. Kim (2000) Wavenumber correlation analysis of satellite geopotential anomalies, The Jour. of Economic and Environmental Geology, accepted.
- Kim, J. W. (1996) Spectral Correlation of Satellite and Airborne Geopotential Field measurements for Lithosphere Analysis, thesis of Ph.D., Ohio State Univ., pp. 171.
- von Frese, R. R. B., Jones M. B. , Kim, J. W., Kim, J. H. (1997a) Analysis of anomaly correlation, Geophysics, vol. 62, no. 1, p. 342-351.
- von Frese, R. R. B., Jones M. B. , Kim, J. W., Li, W. S. (1997b) Spectral correlation of magnetic and gravity anomalies of Ohio, Geophysics, vol. 62, no. 1, p. 365-380.
- Worzel, J.L., and G. L. Shurbet (1955) Gravity anomalies at continental margins, Proc. Nat. Acad. Sci., vol. 41, p. 458.

2000년 3월 28일 원고접수. 2000년 5월 10일 게재승인.